

PENGARUH TEKTONIK DAN IKLIM TERHADAP PERUBAHAN LINGKUNGAN ENDAPAN KUARTER DAERAH SUMPUR, SUMATERA BARAT

H. Mulyana, UM. Lumban Batu dan H. Moechtar

Pusat Survei Geologi
Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122

SARI

Endapan Kuarter di daerah penelitian berdasarkan lingkungan pengendapannya dapat dibedakan menjadi lima kelompok, yaitu : (a) endapan alur sungai, (b) endapan dataran banjir, (c) endapan danau, (d) endapan pasang-surut, dan (e) endapan rawa. Selanjutnya, endapan Kuarter ini dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) interval pengendapan yaitu Interval Pengendapan I, II dan interval pengendapan III.

Perkembangan endapan Kuarter dan perubahan lingkungan di daerah penelitian dipengaruhi oleh peristiwa tektonik dan perubahan iklim. Perubahan iklim dari kondisi basah-agak basah menuju kering, kemungkinan sebagai perubahan iklim global mengikuti siklus Milankovitch. Adapun perubahan sistem lingkungan pengendapan baik secara vertikal maupun lateral dapat disebabkan oleh efek pengaktifan segmen sesar Singkarak - Solok.

Kata kunci: Kuarter, tektonik, iklim, lingkungan

ABSTRACT

Based on the depositional environment, the Quaternary deposits in the study area can be divided into five groups, i.e : (a) fluvial-channel deposits, (b) floodplain deposits (c) lake deposits, (d) transition/ tidal deposits, and (e) swamp deposits. Furthermore, this Quaternary deposits represent 3 (three) depositional intervals, namely Depositional Interval I-III.

The development of the Quaternary environment and changes of basin fill in the research area were influenced by tectonic and climatic changes. Changes in climatological conditions, from the humid-subhumid into dry, probably due to global climatic changes following the Milankovitch cycles. While the vertical and lateral changes of environment systems could be influenced by reactivation of Singkarak-Solok fault segment.

Keywords: Quaternary, tectonic, climate, environment

PENDAHULUAN

Batuan tua yang tersingkap, pembentukan cekungan Kuarter yang diisi oleh material hasil letusan gunungapi, berkembang lembah atau ngarai di dataran tinggi, tidak berkembang alur-alur sungai sebagaimana mestinya, dan pembentukan danau tektonik Singkarak, adalah bukti bahwa proses tektonik di daerah telitian telah berlangsung sejak lama. Ragam (variasi) bentangalam tersebut mengindikasikan bahwa rangkaian pengaruh aktivitas struktur di daerah ini adalah rumit. Tetapi bukti bukti keberadaan struktur-struktur geologi yang dimaksud, sukar dicermati karena tidak muncul di permukaan. Pola Sesar Sumatera tersebut meskipun arahnya sama yaitu hampir utara-selatan, tetapi pola sesar ini telah terbentuk sebelumnya yang berada di sebelah timur sesar Sumatera sekarang. Aktivitas sesar ini dapat menyebabkan batuan alas (*basement*) mengalami pengangkatan dan

penurunan. Peristiwa tersebut telah mengakibatkan berubahnya lingkungan pengendapan dan bentangalam. Tjia (1977) membedakan segmen sesar dari zona tersebut, dimana daerah penelitian termasuk segmen sesar Singkarak-Solok (Gambar 1) sebagai cekungan *pull-apart* Singkarak berumur Neogen Akhir (Milsom dan Walker, 2007).

Secara umum, lingkungan danau didefinisikan sebagai sebuah cekungan tertutup yang dikelilingi oleh daratan yang tidak berhubungan langsung dengan laut, yang pada dasarnya dapat terbentuk dimana-mana pada hamparan dataran fluvial (Thomas, dr., 1996). Lebih jauh dikatakan bahwa di bagian hulu suatu danau bukan hanya satu atau *single* alur sungai yang masuk ke dalamnya secara langsung, tetapi berasal dari anak-anak sungai kecil sehingga pengaruh dari air permukaan dan air tanah menjadi sangat erat terhadap kelangsungan kehidupan lingkungan danau. Oleh karena itu, danau

berasal dari hubungan antar sungai yang selanjutnya meluas dan memiliki kedalaman yang menyolok di sepanjang alirannya, serta berintegrasi dengan berbagai elemen lainnya seperti: kehidupan, bumi, air, dan angkasa (Anadón dr. 1991).

Berdasarkan terminologi geology dan asal-usul terbentuknya, danau dikatakan sebagai suatu lingkungan *ephemeral* atau hampir sama sekali tidak memiliki energi aliran, dan mekanisme pembentukannya berasal dari hasil proses geologi. Meybeck (1995) dalam Thomas, dr. (1996) membedakan danau berdasarkan asal usul pembentukannya, diantaranya adalah danau-danau: glasial, tektonik, *fluvial*, bendung (*dammed lake*), gunungapi (*volcanic lake*), dan penyaringan (*solution lake*) termasuk danau kars (*karst lake*).

Anadón dr. (1991) mengatakan bahwa lingkungan danau dapat berinteraksi dengan berbagai elemen, sehingga fasies danau menjadi penting di dalam mempelajari perubahan lingkungan selama Kuartar. Lebih jauh dijelaskan pula bahwa, susunan fasies endapan danau merupakan rekaman yang baik dalam merekonstruksi perubahan iklim dan tektonik. Turun-naiknya muka danau dan perubahan kelembaban pada akhir Plistosen dan Holosen berhubungan dengan aktifitas *monsoon* purba, mengikuti siklus Milankovitch (Kutzbach dan Street-Perrot, 1985; Overpeck dr., 1996). Berdasarkan penelitian iklim, didukung studi flora dan geokimia, fasies danau menunjukkan adanya perubahan iklim yang menerus selama Kuartar (Baltzer, 1991). Sementara itu, Perlmutter dan Matthews (1989) mengulas betapa pentingnya fasies danau dan rawa di dalam mengontrol perubahan iklim mengikuti siklus Milankovitch, karena meluas dan menyusutnya lingkungan tersebut adalah identik dengan sirkulasi perubahan iklim.

Hasil riset-riset tersebut di atas, sangat jelas bahwa fasies danau dapat dijadikan sebagai mediator yang baik di dalam mempelajari tektonik dan iklim, sehingga studi kasus geologi Kuartar Plistosen Akhir-Resen pada aluvium sungai Sumpur purba di daerah penelitian menjadi menarik untuk ditelusuri.

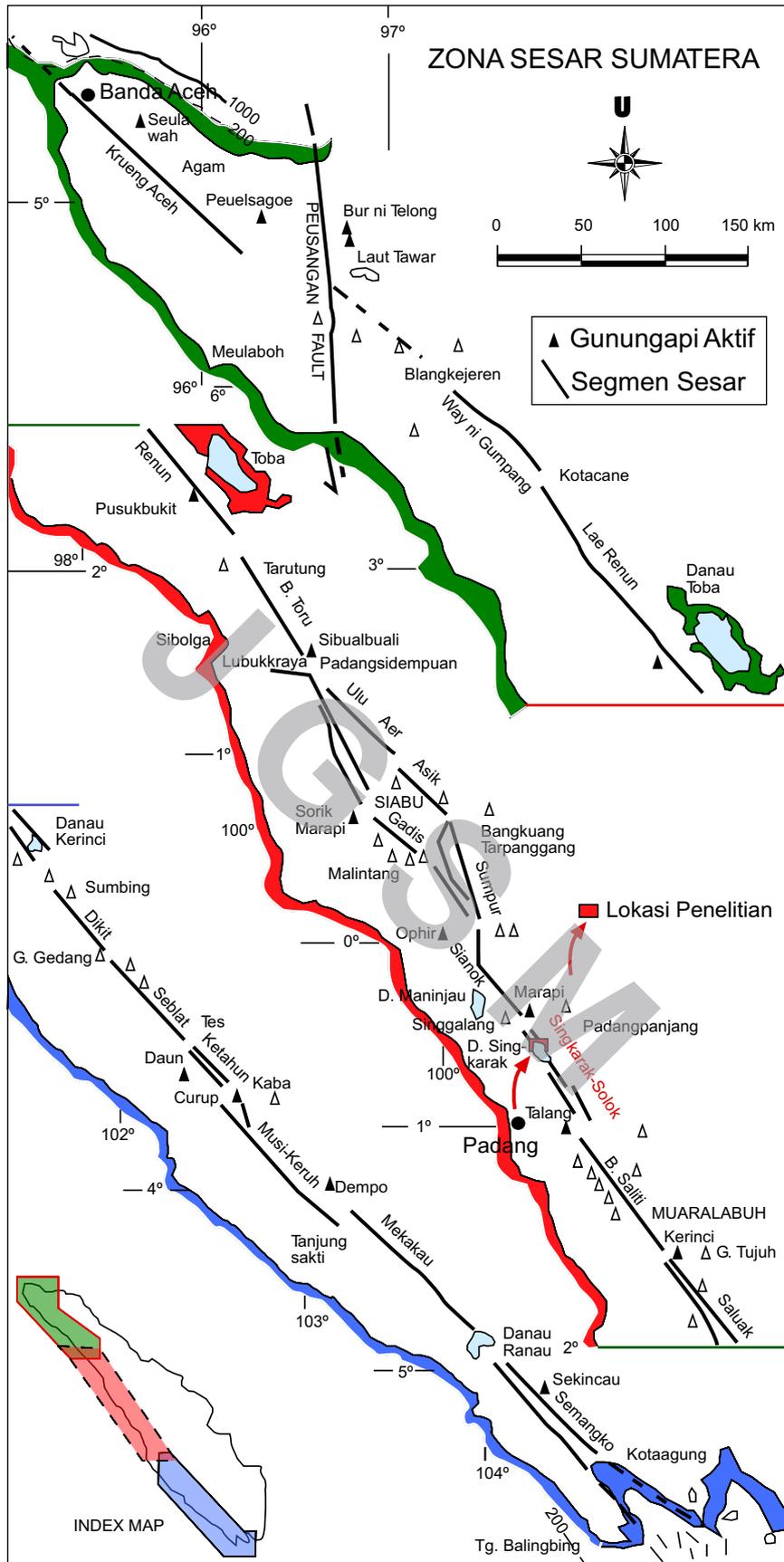
Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui proses sedimentasi pada endapan *fluvial* dan danau, dalam kaitannya dengan fluktuasi muka air danau Singkarak purba, yaitu dengan cara (a) mendeskripsi sedimen Kuartar serta menafsirkan lingkungan pengendapannya; (b) mempelajari hubungan perubahan lingkungan pengendapannya baik lateral

ataupun vertikal, dan mengelompokkannya berdasarkan urutan stratigrafi; (c) merekonstruksi rangkaian dan urutan fasiesnya, yang selanjutnya menafsirkan faktor yang mempengaruhi pembentukannya. Adapun tujuannya, diantaranya adalah untuk: (a) memahami perkembangan lingkungan purba; dan (b) mendiskusikan proses sedimentasi dan fluktuasi turun-naiknya muka air danau purba dalam kaitannya dengan tektonik dan iklim.

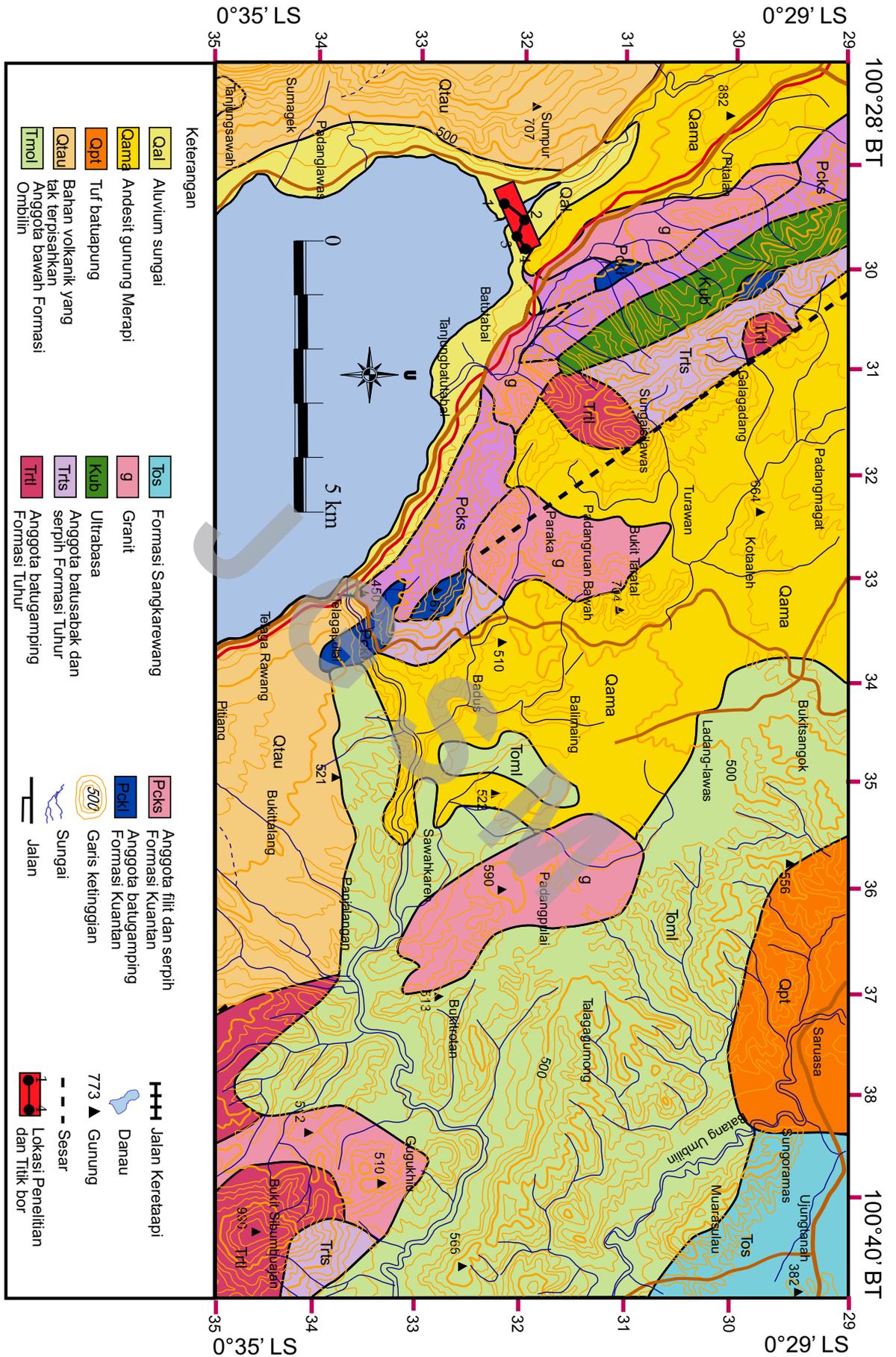
Daerah telitian merupakan bagian dari wilayah administratif Kec. Batipuh Selatan, Kab. Tanah Datar, Sumatera Barat. Secara regional daerah telitian terletak pada koordinat 0°29' - 0°35' LS dan 100°28' - 100°40' BT (Gambar 2). Lokasi telitian dan sekitarnya merupakan dataran rendah yang dikelilingi perbukitan dan pegunungan, terletak di bagian paparan utara danau Singkarak di sekitar muara S. Sumpur, yang menurut Kastowo dr. (1996) disusun oleh endapan Kuartar yang terdiri atas endapan aluvium sungai.

Metode

Pengumpulan data dan informasi geologi daerah penelitian khususnya struktur geologi dilakukan secara langsung di lapangan dengan berpedoman pada Peta Geologi Lembar Solok, Sumatera Barat (Silitonga dan Kastowo, 1995) dan Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera Barat (Kastowo dr., 1996) (Gambar 2). Untuk mendapatkan data primer, khususnya data geologi bawah permukaan, dilakukan dengan metode pemboran dangkal di paparan utara danau Singkarak pada endapan aluvium sungai. Masing-masing log bor dideskripsi dan kemudian hasilnya dituangkan kedalam gambar penampang bor dengan skala penampang tegak 1:100. Ada 4 (empat) titik lokasi pemboran terpilih dengan kedalaman antara 1 meter hingga 3 meter. Penentuan titik lokasi bor dilakukan secara akurat dengan menggunakan GPS, dan pemisahan butiran kasar dan halus didasari pada karakter fasiesnya. Korelasi rangkaian stratigrafi dan hubungan fasies baik secara vertikal ataupun lateral menjadi target untuk ditelaah di dalam menelusuri karakternya. Perubahan fasies endapan klastik mulai dari kasar hingga halus, dan kombinasi antar keduanya menjadi perhatian utama dalam memahami proses pengendapannya dari waktu ke waktu. Korelasi didasari atas akumulasi penyebaran fasies secara vertikal dan lateral, perubahan warna fasies



Gambar 1. Segmen sesar dari zona sesar Sumatera, dan lokasi penelitian. Dominasi susunan segmen sesar *en echelon* menganan (Tjia, H.D., 1977).



Gambar 2. Peta geologi daerah Danau Singkarak dan sekitarnya (Silitonga dan Kastowo, 1995; Kastowo drr., 1996).

termasuk butiran secara spesifik, serta susunan fasies endapannya dicermati. Berdasarkan karakter rangkaian fasies tersebut, sedimen Kuartar tersebut dikelompokkan menjadi tiga interval pengendapan. Setiap interval pengendapan dipengaruhi oleh turun-naiknya muka air danau, efek tektonik, dan perubahan iklim. Sehingga dalam setiap interval pengendapan dapat diartikan sebagai suatu kelompok dari beberapa lingkungan pengendapan, yang dicirikan oleh faktor kontrol proses pembentukannya.

FISIOGRAFI DAN GEOLOGI

Fisiografi daerah penelitian, secara umum dibedakan menjadi tiga wilayah, yaitu: (1) wilayah pegunungan yang tersusun dari formasi batuan vulkanik membujur dari utara ke selatan dan mengapit danau Singkarak, (2) wilayah perbukitan formasi batuan Tersier dan Pra-Tersier yang membujur dari utara ke selatan dan mengapit pegunungan vulkanik, (3) wilayah dataran rendah berupa aluvium sungai yang menempati kota Solok hingga Singkarak termasuk sebagian besar paparan danau. Danau Singkarak dan sekitarnya merupakan bagian dari pegunungan Bukit Barisan yang pada bagian baratlautnya dibatasi oleh Gunung Singgalang (2877 m) dan Gunung Marapi (2891 m), sedangkan di bagian tenggaranya terletak Gunung Talang (2597 m). Wilayah ini terletak pada jalur sesar Sumatera di bawah pengaruh dinamika lokal dan regional sistem konvergensi Lempeng Samudera Hindia dan tepi baratdaya Paparan Sunda sebagai bagian dari Lempeng Eurasia.

Tataan geologi dan stratigrafi daerah telitian disusun oleh batuan malihan, terobosan Tersier, dan batuan berumur Plio-Plistosen hingga Kuartar (Gambar 2). Batuan malihan berumur tua (Paleozoikum), terdiri atas batuan Anggota batugamping Formasi Kuantan (PCKI), Anggota filit dan serpih Formasi Kuantan (PCKs), Anggota batugamping Formasi Tuhur (Trtl), Anggota batusabak dan serpih Formasi Tuhur (Trts), Ultrabasa (Kub), Granit (g). Kelompok batuan tua tersebut berasosiasi dengan Formasi Sangkarewang (Tos), Anggota bawah Formasi Ombilin (Tmol), Bahan vulkanik yang tak terpisahkan (Qtau), Tuf batuapung (Qpt), Andesit gunung Marapi (Qama), dan aluvium sungai (Qal).

Dari fisiografi dan keadaan geologi tersebut di atas, dapat diketahui bahwa daerah telitian memiliki sejarah geologi yang panjang dan rumit. Proses tektonik, magmatisme, erupsi gunungapi, dan pembentukan cekungan merupakan proses geologi yang mempengaruhi pembentukan lahan dari waktu ke waktu. Proses erupsi gunungapi dan tektonik tampaknya masih sangat dominan pada kurun waktu terakhir. Hal ini terbukti dari sebagian besar lahan ditutupi oleh material hasil erupsi. Menurunnya kegiatan tektonik pada kurun waktu sekarang (Kuartar) dapat diterima, hal mana didasari pada informasi sejarah geologi di atas. Namun demikian, proses tektonik yang dimaksud memiliki perioda-perioda tertentu dimana dalam setiap periodanya mempunyai puncak intensitas tektonik (maksimum).

SEDIMENTOLOGI

Litologi dan Lingkungan Pengendapan

Berdasarkan data geologi bawah permukaan penampang bor (pb) 1 - 4 (Gambar 3), sedimen Kuartar di daerah penelitian dapat dibedakan menjadi fraksi endapan klastik berbutir kasar (pasir) dan halus (lempung, lanau, dan lempung berhumus/bergambut) yang ditutupi oleh *soil*. *Soil* sebagai tanah penutup berukuran lempung, lanau, pasir, berwarna coklat sampai kelabu, oksida besi dan mengandung akar-akar tanaman.

Fasies Berbutir Halus

Fasies berbutir halus terdiri atas lempung, lanau, berwarna coklat sampai abu-abu muda, berlapis buruk, kadang-kadang disisipi oleh pasir halus tipis berwarna abu-abu setebal 1 - 3 cm mengandung sisa-sisa tumbuhan dengan kandungan mineral kuarsa dominan. Kadang-kadang mengandung lapisan tipis lempung dan lanau berwarna abu-abu kehijauan dengan kandungan sisa-sisa tumbuhan setebal 2 - 4 cm. Fasies ini diinterpretasikan sebagai endapan dataran banjir (*floodplain deposits*) yang dipengaruhi oleh turun-naiknya permukaan danau, dan terdapat pada kedalaman antara 0,30 - 1,40 m pada pb 3 (Gambar 3). Percampuran lempung dan pasir yang terkonsolidasikan secara baik diduga berasal dari pasokan alur sungai yang berada disekitarnya dan selanjutnya diendapkan di wilayah dataran banjir.

Sedangkan lempung dan lanau yang kadangkala pemisahan butirnya sempurna berwarna hijau, kemungkinan merupakan material yang dibawa oleh energi aliran danau ketika muka air naik atau pasang. Lempung berwarna coklat sampai kelabu kehitaman, kaya akan sisa-sisa tumbuhan dengan kandungan akar tanaman, memiliki plastisitas tinggi diinterpretasikan sebagai endapan rawa (*swamp deposits*) yang menempati kedalaman antara 0,20 - 0,65 m (Gambar 3 / pb 2). Pada pb 4 (Gambar 3), endapan rawa ini mengandung lempung berhumus/bergambut berwarna hitam kelabu setebal 20 cm.

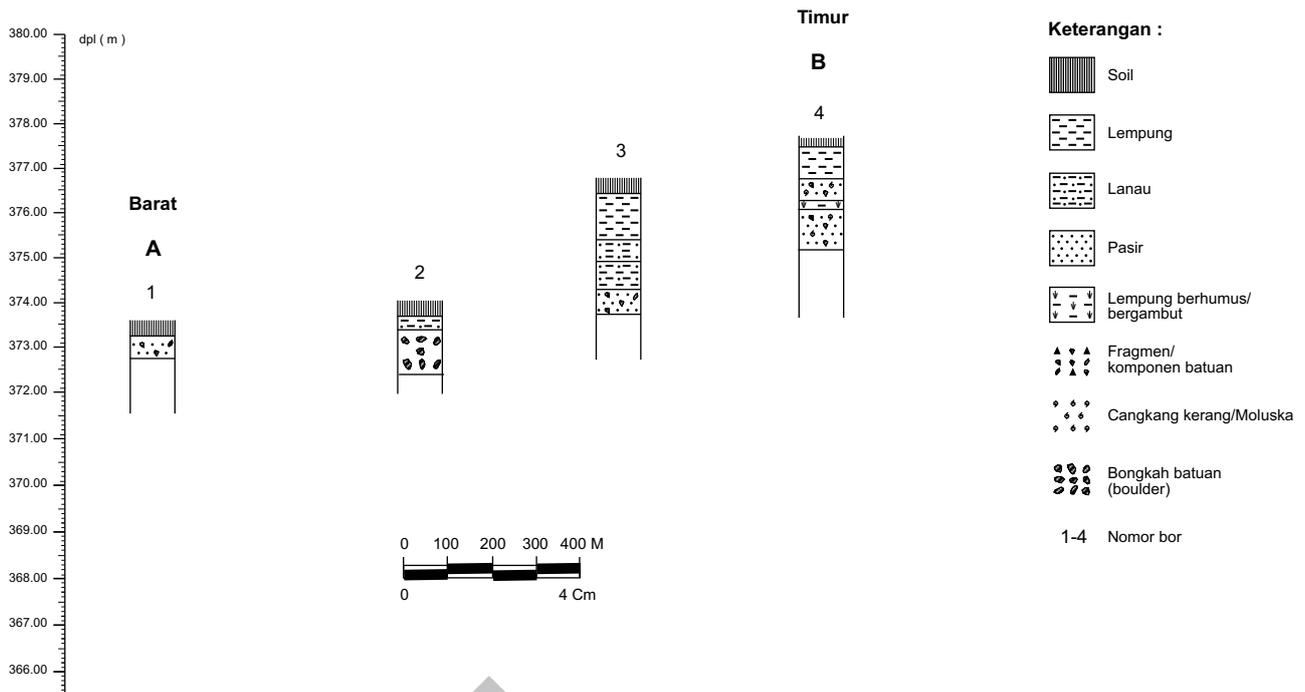
Fasies lainnya yaitu lanau berwarna abu-abu sampai hijau hingga abu-abu kehijauan kaya akan sisa-sisa tumbuhan, lengket dan padat, kadang kala mengandung kerikil diinterpretasikan sebagai endapan danau (*lake deposits*). Endapan ini terdapat pada kedalaman antara 1,40 - 1,95 pada pb 3 (Gambar 3). Ciri fasies ini padat dan lengket dapat diassosiasikan sebagai hasil arus suspensi dalam kondisi tenang sebagai endapan danau. Sisa-sisa tumbuhan yang terkandung pada fasies tersebut menunjukkan bahwa kondisi pengendapan pada ketika itu berlangsung di bagian paparan atau pinggir danau, sedangkan kandungan material kasar yang terdapat di dalamnya mungkin disebabkan oleh pengaruh material yang dibawa arus, yang selanjutnya diendapkan pada bagian pinggir danau dikala energi mendekati minimum.

Fasies Berbutir Kasar

Fasies klastik berbutir kasar terutama dicirikan oleh pasir halus berwarna abu-abu sampai hijau terkadang mengandung cangkang kerang (moluska). Ke arah atas, butirannya semakin kasar menjadi pasir sedang yang kadang-kadang dibagian bawahnya berwarna kecoklatan serta mengandung sisa-sisa tumbuhan. Secara umum, fasies ini memiliki karakter perubahan butir dari halus ke kasar yang diikuti oleh perubahan variasi warna yang semakin terang ke arah atasnya. Fasies tersebut cenderung termasuk kedalam fasies danau, yang terdapat pada kedalaman antara 0,20 - 0,90 m (Gambar 3 / pb 4).

Salah satu penyebabnya perubahan butir yang terjadi pada fasies ini, mungkin karena proses pengendapan berlangsung dekat paparan danau akibat muka air menyusut. Ciri lainnya dari material klastik tersebut adalah, ditandai oleh terbentuknya pasir berukuran menengah hingga sangat kasar pada kedalaman 1,95 - 2,5 m di pb 3 dan selang bawah pada pb 4 (Gambar 3). Lapisan pasir tersebut berwarna abu-abu sampai kehijauan, kaya akan moluska, mengandung sisa-sisa tumbuhan dan tanaman. Semakin ke arah atas ukuran butir makin menghalus, dan diduga sebagai hasil dari proses endapan sistem danau. Fraksi pasir ini berselang seling dengan lapisan lempung tipis setebal 1 - 2 cm dengan kandungan humus dan sisa-sisa tumbuhan, yang diinterpretasikan sebagai endapan rawa. Kombinasi litologi yang demikian diinterpretasikan sebagai endapan pasang-surut (*tidal lake deposits*), yaitu pengendapan yang terjadi di daerah dataran rawa yang sangat dipengaruhi oleh turun-naiknya muka air danau. Menghalus dan mengasarnya ukuran butir dari lapisan danau tersebut diduga berhubungan dengan tingkat kenaikan muka air.

Tipe fraksi kasar lainnya, yaitu berupa pasir berukuran halus sampai sangat kasar, kerakal-kerikil, abu-abu kehitaman, aneka ragam komponen terdiri atas kuarsa dan pecahan batuan gunungapi, kerikil, menyudut tanggung sampai membulat tanggung, dan terpilah sedang. Terlihat adanya pengkasaran butir ke arah bagian atas interval, hal ini dapat disebabkan oleh pengurangan energi aliran. Sistem energi demikian adalah umum terjadi di lingkungan fluvial, dan diinterpretasikan sebagai endapan alur sungai (*channel deposits*) (Gambar 3). Fraksi butir pada pb 1 (Gambar 3) menunjukkan ukuran pasir berbutir kasar sampai sangat kasar yang mengasar ke arah atas (*coarsening upwards*), sedangkan ukuran butiran sistem tersebut pada lokasi pb 3 cenderung halus yaitu berukuran halus sampai menengah dimana semakin ke arah bawah mengasar (*finning upwards*). Sebaliknya pada pb 2 yang memiliki ukuran butirannya adalah menengah sampai kasar, berbaur dengan fragmen/ bongkah batuan.



Gambar 3. Penampang bor dangkal A - B di sekitar Muara Sungai Sumpur paparan Danau Singkarak.

STRATIGRAFI

Interval Fasies Pengendapan dan Korelasinya

Rangkaian stratigrafi daerah penelitian, dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) Interval Pengendapan (IP), yaitu (Gambar 4):

IP I dicirikan oleh kombinasi perkembangan endapan alur sungai dan endapan pasang surut, dimana pada selang pengendapan pasang-surut berkembang endapan rawa (Gambar 4). Komposisi endapan alur sungai terdiri atas fraksi butiran pasir berukuran halus sampai menengah, sedangkan lapisan endapan danau di lingkungan pasang-surut menunjukkan butirannya makin kasar ke arah atasnya, dengan sisipan endapan rawa bergambut bewarna lebih gelap. Selanjutnya selang IP II di bagian timur, dicirikan oleh pembentukan endapan danau yang ke arah atasnya ditutupi oleh endapan dataran banjir. Endapan dataran banjir ini sangat dipengaruhi oleh turun-naiknya muka air danau, sedangkan ke arah barat sistem alur sungai terbentuk. Posisi alur sungai sebelumnya di pb 3 (Gambar 4) terhenti perkembangannya, dan diduga alur sungai yang muncul pada IP II ini adalah sebagai alur sungai sebelumnya yang mengalami pergeseran. Selang IP III dicirikan antara lain oleh terbentuknya

lingkungan rawa, dimana semakin ke arah barat berkembang sistem alur sungai yang butirannya mengasar ke arah atas. Sistem alur sungai yang dimaksud adalah berasal dari alur sungai sebelumnya yang mengalami pergeseran kembali. Selain itu, sisipan lapisan lempung rawa tersebut memiliki warna yang semakin terang ke arah atasnya. Bagian atas dari IP III ini memberikan indikasi terhentinya proses pengendapan sedimen Kuartar di tempat tersebut, dan selanjutnya berkembang proses pembentukan *soil* bersamaan dengan semakin menyusutnya cekungan seperti yang terlihat sekarang yaitu perkembangan lingkungan danau Singkarak dan sungai Sumpur.

Secara umum, perbedaan dalam setiap Interval Pengendapan di atas ditandai oleh: (1) berkembangnya endapan pasang-surut dan alur sungai yang diselingi oleh pembentukan endapan rawa (IP I), (2) puncak naiknya muka air danau yang diikuti berkembangnya lingkungan dataran banjir yang dipengaruhi turun-naiknya muka air danau dan bergesernya alur sungai (IP II), dan (3) bergesernya alur sungai serta berkembangnya lingkungan rawa (IP III).

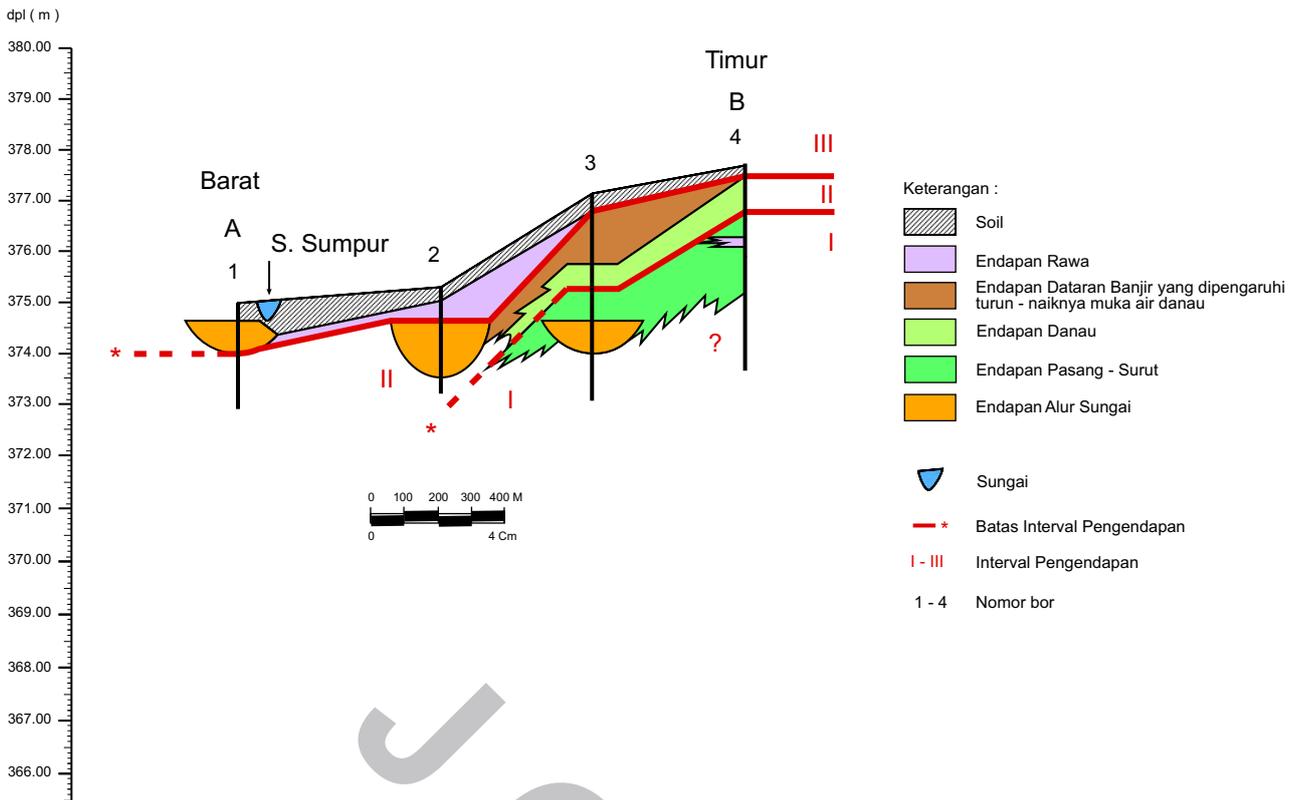
Proses Sedimentasi dan Faktor Kontrolnya

Perkembangan proses sedimentasi Kuarter daerah penelitian, ditandai oleh terbentuknya endapan-endapan alur sungai, dataran banjir yang dipengaruhi turun-naiknya muka air danau, pasang-surut, dan rawa. Proses sedimentasi selama pembentukan IP I, dicirikan oleh sistem alur sungai yang memiliki ukuran butir halus hingga menengah, serta berkembangnya lingkungan rawa. Ukuran butir pada sistem *fluvial* demikian adalah salah satu pertanda bahwa energi aliran ketika itu adalah relatif tinggi. Di saat kondisi energi aliran yang tinggi tersebut, diikuti pula dengan berkembangnya lingkungan rawa bergambut. Suasana dan kondisi yang demikian adalah sebagai salah satu indikasi, bahwa faktor kontrol sedimentasi ketika itu adalah di bawah pengaruh tingkat kebasahan/ kelembaban yang relatif besar (*humid*) yang prosesnya berlangsung pada lingkungan pasang-surut pada kondisi basah (Tabel 1). Pada bagian bawah IP II, terlihat bahwa lingkungan danau meluas yang diikuti oleh bergesernya alur sungai yang ukuran butirannya sangat kasar. Komposisi yang demikian, adalah pertanda bahwa derajat transportasi menurun diakibatkan oleh menurunnya energi aliran. Oleh karena itu, faktor kontrol dalam proses sedimentasi ketika itu, dipengaruhi oleh tingkat kelembaban yang menurun yaitu pada kondisi basah sampai agak basah (*sub-humid*). Dengan demikian, naiknya muka air danau pada bagian bawah IP II diduga bukan dikarenakan oleh penambahan dari jumlah volume air, tetapi disebabkan alas cekungan turun akibat tektonik. Sebaliknya pada kondisi demikian alur sungai mengalami pengurangan laju arusnya, terbukti dari ukuran butirannya yang lebih kasar dari alur sungai sebelumnya. Selanjutnya, bagian atas IP II, ditandai oleh muka air danau kembali turun, terbukti dari dominannya pembentukan endapan dataran banjir hasil dari pelimpahan alur sungai yang dipengaruhi oleh turun-naiknya muka air danau di bawah pengaruh iklim agak basah (Tabel 1).

Awal pembentukan IP III ditandai oleh berkembangnya lingkungan rawa dengan ciri warna litologinya terang, serta alur sungai yang kembali mengalami pergeseran dari posisi semula. Ini berarti bahwa daerah genangan ketika itu mendapat suplai air yang semakin berkurang, sehingga energi aliran

alur sungai dan danau semakin kecil. Atau dengan perkataan lain: bahwa tingkat kelembaban pada waktu itu semakin menurun sehingga cekungan menyusut. Ukuran butir yang mengasar ke arah atas pada sistem alur sungai adalah salah satu indikasi bahwa kondisi iklim saat itu menuju minimum, yaitu pada kondisi agak lembab sampai kering (*dry*). Pergeseran alur sungai dari posisi IP II ke IP III adalah berkaitan dengan tektonik (Tabel 1). Sebaliknya, ketika proses pembentukan endapan rawa berahir, kemudian diikuti oleh proses berkembangnya *soil*, sedangkan aktifitas alur sungai semakin menyusut dan mengecil membentuk alur sungai Sumpur sekarang. Dengan perubahan kondisi lingkungan tersebut, maka diduga semakin ke arah atas lingkungan rawa makin menyusut. Lingkungan ini selanjutnya semakin menyusut dikala pembentukan interval *soil*. Interval *soil* ini adalah seumur dengan endapan Resen yang prosesnya masih berlangsung hingga sekarang.

Dinamika mekanisme pengendapan sangat tergantung pada berubahnya muka air laut, tektonik, iklim, dan evolusi biotik (Walker dan James, 1992). Di daerah telitian mekanisme tersebut cenderung dipengaruhi oleh perubahan iklim dan tektonik. Indikator untuk menyatakan hal tersebut, diantaranya adalah: (a) bergesernya alur sungai dan menurunnya aktifitas energi alirannya, (b) turun-naiknya muka air danau, dan (c) berkembangnya lingkungan rawa dan pembentukan *soil*. Perlmutter dan Matthews (1989) menyatakan bahwa tingkat kelembaban sangat mempengaruhi proses pelapukan, akhir produk dari sistem sedimentasi, bertambah dan menurunnya *runoff*, meluas dan menyusutnya lingkungan rawa, bertambahnya dimensi alur sungai, dan sebagainya. Karakter rangkaian stratigrafi di daerah penelitian dicirikan antara lain oleh: (a) pada IP I di bawah kondisi iklim yang relatif basah, (b) akhir pembentukan IP I ditandai oleh aktifitas tektonik yang menyebabkan bergesernya alur sungai, yang selanjutnya menghasilkan IP II pada kondisi iklim basah hingga agak basah, dan (c) aktifitas tektonik kembali terjadi di akhir pembentukan IP II, yang selanjutnya menghasilkan IP III pada kondisi iklim agak basah sampai kering yang prosesnya masih berlangsung hingga sekarang.



Gambar 4. Korelasi sedimen Kuartar daerah penelitian.

DINAMIKA PROSES PENGENDAPAN DAN IMPLIKASINYA

Sistem alur sungai (*fluvial*), *Base-Level*, dan Posisi Muka Air Danau

Salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan alur sungai adalah jumlah volume air. Volume air itu sendiri sangat berkaitan dengan tingkat kelembaban mengikuti sirkulasi iklim. Dengan demikian, komposisi fasies *fluvial* akan mengalami perubahan mengikuti sirkulasi iklim yang identik dengan siklus Milankovitch (Perlmutter dan Matthews, 1989). Artinya, komposisi fasies sedimen tersebut akan mengalami perubahan seiring dengan berubahnya iklim. Misalnya, apabila kondisi iklim menuju kering, maka pengendapan yang terjadi akan dicirikan oleh butiran kasar, kandungan mineral stabil semakin berkurang, derajat kebundaran semakin rendah, kandungan organik semakin menurun, warna semakin terang, dan sebagainya. Perulangan pola dari interval pengendapan yang mengikuti siklus Milankovitch tersebut membuktikan bahwa faktor iklim adalah sangat penting dalam suatu proses pengendapan (Van Houten, 1964; Goodwin dr., 1986; Olsen, 1989; Perlmutter dan Matthews, 1989; Bull, 1991; Moechtar, 1994).

Butiran sistem alur sungai di daerah penelitian mengikuti Interval Pengendapan, ditandai oleh IP I memiliki butiran yang menghalus ke arah atas, sedangkan menuju ke IP II dan III sebaliknya butirannya mengasar. Oleh karena itu, perkembangan sistem alur sungai tersebut meski mengalami pergeseran akan tetapi cerminan dari perubahan butir mengikuti perubahan iklim dapat direkonstruksi. Arah pergeseran alur sungai purba dan posisi muka air danau mengikuti interval pengendapan terlihat pada Gambar 5.

Base-level dalam suatu sistem cekungan dapat diartikan sebagai batuan dasar yang mengalasinya, dimana di tempat tersebut berlangsung pengisian cekungan. Turun-naiknya batuan alas tersebut dapat mengakibatkan berubahnya bentuk lahan di permukaan, seperti alur sungai akan berpindah apabila batuan yang mengalasinya bergerak. Bergeraknya batuan tersebut tidak lain disebabkan oleh gaya endogen bawah permukaan yang berasal dari pergerakan sesar/patahan. Oleh karena itu, sistem *fluvial* khususnya alur sungai, dapat dijadikan sebagai parameter penting untuk mengetahui pengaruh suatu sesar yang dapat memberikan efek hingga ke permukaan, karena alur-alur sungai

tersebut akan saling berpotongan, atau bergeser seiring berubahnya bentuk lahan permukaan.

Pergeseran sungai pada awalnya ditandai oleh berpindahnya alur sungai IP I ke barat membentuk alur sungai IP II, berarti bahwa bagian barat bergerak turun. Peristiwa selanjutnya adalah sehubungan dengan pembentukan alur IP III yang menandakan bahwa permukaan di barat kembali turun. Akhirnya, alur tersebut menyusut dan membenturk Sungai Sumpur kini (Gambar 5). Kejadian berubahnya posisi alur sungai tersebut adalah sebagai klimaksnya atau jatuhnya (*collapse*) gerak dari struktur patahan.

Hubungan antara gerak tektonik dan turun-naiknya muka air danau, lebih lanjut dapat dijelaskan, sebagai berikut (Tabel 1 dan Gambar 5):

- Interval Pengendapan I, ditandai oleh gerak-gerak tektonik aktif yang salah satu buktinya adalah berkembangnya endapan pasang-surut. Hal tersebut dapat dijadikan bukti bahwa dasar cekungan ketika itu bergerak naik-turun. Kondisi iklim yang basah diperlihatkan oleh terbentuknya lapisan lempung berhumus pada bagian atas, yang mungkin sebagai penciri bahwa intensitas tektonik ketika itu semakin tinggi. Puncak dari kegiatan tektonik ini ditandai pula oleh berpindahnya alur sungai dan turunnya permukaan di bagian barat yang menyebabkan muka air danau menjadi naik.
- Sistem pembentukan Interval Pengendapan II dicirikan oleh muka air danau naik dan kembali turun, yang mengakibatkan lingkungan danau mengalami perubahan dan pergeseran. Efek tektonik ketika itu menunjukkan bahwa proses pengangkatan kembali terjadi di timur, yang dibuktikan oleh bagian interval atasnya dipengaruhi oleh naik-turunnya muka air danau. Akhir pembentukan IP II ditandai oleh intensitas tektonik yang tinggi, menyebabkan alur sungai semakin bergeser ke arah barat pada kondisi iklim agak basah.
- IP III ditandai oleh menyusutnya alur sungai Sumpur purba, dimana berkembang lingkungan rawa yang diikuti oleh terhentinya proses pengendapan dan pembentukan interval soil. Oleh karena itu, gejala-gejala tektonik tidak terekam pada interval tersebut.

Alur Sungai kaitannya dengan Gerak Vertikal dan Lateral

Gerak vertikal dalam sistem sesar umumnya berasal dari sesar naik ataupun sesar normal, dimana gerakan tersebut memberikan reaksi terhadap pola alur sungai. Gerak sesar naik yang memotong alur sungai, akan membentuk struktur alur sungai yang menyerupai gelas anggur (*wine glass*), sehingga terjadi pelebaran alur sungai. Hal ini dikarenakan salah satu bidang sesarnya bergerak naik, sedangkan bidang lainnya diam. Hal ini dikarenakan pada alur sungai yang terletak di posisi bidang yang bergerak naik tersebut akan memberikan rekasi berpindahnya alur sungai dengan tingkat erosi yang tinggi sehingga lambat laun alur tersebut akan melebar. Perulangan dari proses tersebut, pada akhirnya akan menghasilkan sistem alur sungai yang saling berpotongan (*stacking*) tanpa mengalami pergeseran. Selain itu, sesar normal yang dicirikan oleh Bergeraknya salah satu bidang permukaannya naik, sedang bidang lainnya turun akan mempengaruhi sistem alur sungai pula. Apabila sesar yang dimaksud memotong alur sungai, maka biasanya alur sungai akan berkembang menjadi beberapa alur (*distributary channels*) pada bagian permukaan yang turun. Dari penafsiran korelasi alur sungai purba Sumpur, gejala-gejala yang diakibatkan oleh gerak vertikal tersebut tidak terlihat.

Gerak lateral identik dengan gerakan yang diakibatkan oleh sesar geser (*strike-slip fault*). Gerak lateral tersebut dalam perkembangannya membentuk bangun elipsoidal, dimana terjadi keseimbangan antara yang naik dan yang turun di sepanjang bidang sesarnya. Suatu aktifitas sesar lateral yang memotong dan searah alur sungai umumnya akan membentuk struktur alur sungai mengecil dan membesar (struktur rantai), yang terjadi di sepanjang zona sesar. Lambat laun alur sungai tersebut mengalami pergeseran, dengan alur-alur yang menyempit dan melebar. Dalam rekonstruksi alur sungai purba (Gambar 4 dan 5), secara jelas proses tersebut dapat dijumpai dimana pada bagian bawah dijumpai alur-alur sungai yang dimensinya berbeda-beda, yang kemudian ke arah atasnya mengalami pergeseran. Pola sistem alur demikian tidak tampak dalam korelasi sistem alur sungai Sumpur purba, dan oleh karena itu dapat diduga bahwa disepanjang alur sungai tersebut tidak dilalui oleh sesar. Sebaliknya, apabila alur sungai

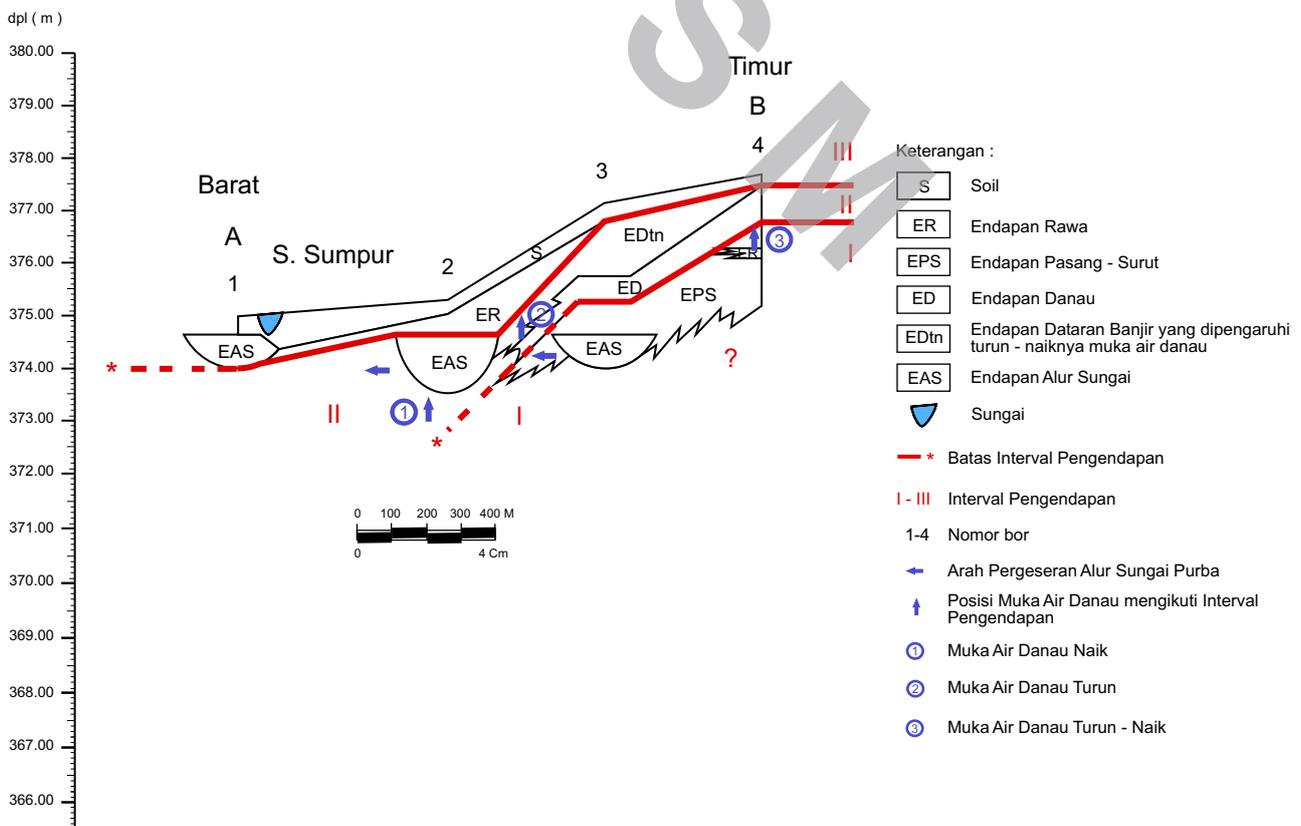
tersebut tidak melalui zona sesar maka yang terjadi adalah pergeseran (*shifting*) alur. Semakin tinggi intensitas tektonik, pergeseran yang terjadi semakin kompleks. Sebagai contoh, intensitas tektonik yang relatif rendah akan mengakibatkan perpindahan satu alur ke alur lainnya terjadi secara beraturan dan sederhana. Sebaliknya pada intensitas tektonik yang tinggi, pergeseran alur satu ke yang lainnya menjadi rumit dan tidak teratur. Dari komposisi sistem alur sungai Sumpur purba (Gambar 5), maka dapat ditafsirkan bahwa pergeseran alur sungai tersebut adalah tidak rumit dan relatif sederhana, dan sesar aktif tersebut adalah sebagai gerak mendatar yang berada di sebelah timur lokasi pembaron. Oleh karena itu, maka sesar mendatar yang dimaksud, tidak terletak di sepanjang alur sungai. Dan tidak mustahil bahwa sesar yang bergerak tersebut adalah bagian dari segmen sesar Singkarak-Solok yang posisinya terletak di sebelah timur (Gambar 1).

Tektonik Danau Singkarak sekitarnya

Kastowo dr. (1996) dan Silitonga dan Kastowo (1995) menggambarkan pola struktur daerah telitian

relatif rumit. Struktur sesar tersebut umumnya digambarkan sebagai garis putus-putus. Ini berarti bahwa struktur geologi tersebut merupakan pendugaan atau sebagai suatu gejala dari kelurusan saja. Selanjutnya, pola struktur di daerah ini dapat dilihat dalam Gambar 1. Sesar utama Sumatera yang berarah barat-laut-tenggara dan memotong Bukittinggi dicirikan oleh terbentuknya ngarai Sianok yang menerus ke danau Singkarak. Sepanjang zona sesar ini ditutupi oleh material erupsi gunungapi Kuartar. Bentangalam ngarai Sianok dan danau Singkarak adalah sebagai bukti terjadinya penurunan (depresi) oleh gerak mendatar tersebut.

Segmen sesar Singkarak-Solok walaupun tidak muncul di permukaan, akan tetapi efek gerakannya yang merubah bentuk bentangalam serta pola dari susunan sebaran formasi batuanannya dapat dikenal. Seperti, terbentuknya lembah dengan tebing yang tegak lurus, melebar dan tidak memiliki variasi elevasi. Bentangalam yang demikian dapat dikategorikan sebagai bagian dari wilayah yang turun dari suatu efek gerak sesar mendatar, dan sepanjang arah dari lembah tersebut adalah merupakan sumbu dari penurunan. Umumnya, di daerah yang ditutupi



Gambar 5. Perubahan "base level" sepanjang fasies pengendapan.

oleh batuan yang belum terkonsolidasi secara sempurna seperti material gunungapi Kuartar, apabila batuan dasarnya mengalami penurunan akibat gerakan mendatar, akan terbentuk suatu zonasi turun yang menyudut terhadap zona sesar tersebut (*stepping basin*). Di lain pihak apabila proses tersebut berlangsung di daerah dataran tinggi, maka pada poros penurunan yang ditempati oleh fasies batuan yang belum terkonsolidasi tersebut akan terbentuk lembah yang mudah tererosi. Terbentuknya lembah yang hampir tegak lurus tersebut juga dikarenakan oleh masih aktifnya zona sesar sebagai dasar cekungan. Dugaan lain, bahwa tebing tersebut berkaitan dengan proses erosional sungai adalah sulit diterima. Hal ini dikarenakan tidak diketemukan adanya jejak erosional pada dinding tebing tersebut. Jadi dapat dijelaskan bahwa perkembangan ngarai Sianok pada awalnya adalah berasal dari bagian gerak turun sesar Sumatera, dan proses ini masih terus berlangsung mengikuti pergerakan sesar yang menyebabkan tebing semakin berkembang. Suatu kontrol kombinasi terbentuknya depresi di daerah batuan gunungapi muda, dapat dijadikan sebagai model morfotektonik di daerah ini.

Mekanisme terbentuknya danau Singkarak yang terletak pada zona kelurusan sesar Sumatera, merupakan hasil dari efek gerak mendatar sesar ini. Berdasarkan peta anomali Bouger lembar Padang, Sumatera (Nazhar Buyung dr., 1992) dapat ditafsirkan bahwa bagian timur paparan danau adalah searah sesar Sumatera yang menerus ke arah selatan. Kemudian, searah sumbu danau yang menerus ke arah selatan berkembang dataran aluvial yang luas seperti yang terlihat dalam peta geologi lembar Solok, Sumatera (Silitonga dan Kastowo, 1995) yang diikuti pula oleh munculnya sesar yang memotong bagian tengah dataran aluvial tersebut. Sesar yang dimaksud menerus pula ke arah barat danau Singkarak. Selanjutnya, ke arah barat mulai dari bagian selatan danau tampak adanya anomali yang memiliki sumbu kurang lebih berarah hampir utara-selatan. Di sini bentangalamnya dicirikan oleh tinggian yang ditempati oleh batuan tua dan bahan vulkanik yang tak terpisahkan.

Apabila pola kelurusan sesar yang berada di sekitar danau Singkarak diterjemahkan dari ciri-ciri yang dinyatakan di atas, maka dapat dikatakan bahwa

gerak mendatar sesar tersebut dari waktu ke waktu adalah berkembang ke arah timur. Hal ini terbukti dari bentangalam yang dibentuknya, dimana dalam setiap gerak mendatar akan dijumpai pasangan efek dari suatu penurunan dan pengangkatan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, menunjukkan bahwa bagian timur daerah telitian ditempati oleh sesar Sumatera yang aktif hingga sekarang. Hal ini dibuktikan oleh membentangnya tinggian beraneka ragam (Gambar 2), dan daerah tersebut adalah merupakan bagian dari gerak mendatar naik, sedangkan danau Singkarak adalah bagian dari gerak mendatar yang turun. Hasil dari rekonstruksi alur sungai Sumpur purba membuktikan bahwa pergeseran adalah mengarah ke bagian barat, gejala tersebut dapat dijadikan bukti bahwa sesar yang aktif adalah merupakan sesar mendatar, mungkin merupakan bagian segmen sesar Singkarak-Solok sayap timur.

KESIMPULAN

- Sedimen Kuartar di daerah penelitian dapat dibedakan menjadi fasies / lingkungan-lingkungan alur sungai, dataran banjir yang dipengaruhi turun-naiknya muka air danau, danau, pasang-surut, dan rawa. Selanjutnya masing-masing fasies tersebut dapat dibedakan berdasarkan posisi stratigrafi, baik secara lateral maupun vertikal. Berdasarkan aspek stratigrafisnya, rangkaian pengendapan tersebut dapat dikelompokkan menjadi 3 fase pengendapan yaitu Interval Pengendapan Bawah (IP I), Interval Pengendapan Tengah (IP II), dan Interval Pengendapan Atas (IP III).
- Karakter endapan Kuartar bawah permukaan di bagian paparan utara danau Singkarak menunjukkan adanya pengaruh tektonik dan perubahan iklim yang menyebabkan dalam setiap fase pengendapan kedua faktor kendali tersebut sangat berhubungan dengan berubahnya lingkungan. Bergesernya alur sungai dan berpindahnya lingkungan dalam setiap fase pengendapan adalah sebagai indikator kendali tektonik yang menonjol. Sebaliknya menyusut dan meluasnya lingkungan yang berkaitan dengan perubahan butir, warna, kandungan humus, dan sebagainya cenderung diakibatkan oleh berubahnya iklim.

- IP I dicirikan oleh kondisi iklim relatif lembab, sedangkan IP II ditandai oleh kondisi iklim relatif basah sampai agak basah, akhirnya IP III menunjukkan kondisi iklim di bawah pengaruh relatif agak basah sampai kering. Kegiatan/regim tektonik yang berlangsung di kala pembentukan IP I dan IP II ditandai oleh kegiatan tektonik maksimum pada akhir pembentukan setiap fase pengendapan tersebut. Sedangkan IP III dicirikan oleh kegiatan tektonik yang relatif stabil.
- Studi runtunan rangkaian fasies endapan yang dilakukan cenderung berhubungan dengan

perubahan kitaran bumi mengikuti Siklus Milankovitch, atau dapat dikategorikan sebagai astrostratigrafi. Sebaliknya kontrol dari kegiatan /regim tektonik dari susunan stratigrafi tersebut, seyogyanya dapat berkaitan dengan studi tectonostratigrafi Kuartar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi atas izin untuk diterbitkannya karya tulis ini, dan semoga bermanfaat.

ACUAN

- Anadón, P., Cabrera, L. & Kelts, K. 1991. Preface. In : Lacustrine Facies Analysis (Eds Anadón, P., Cabrera, L. & Kelts, K.), *Spec. Publs Int. Ass. Sediment.* (1991) 13.
- Baltzer, T., 1991. Late Pleistocene and Recent detrital sedimentation in the deep parts of northern Lake Tanganyika (East Africa rift), in Anadon, P., *et.al.*, eds., Lacustrine Facies Analysis: *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.*, (1991) (13) 147-173.
- Bull, W.B., 1991. *Geomorphic responses to climatic changes*. Oxford University Press, 326 pp.
- Buyung, N., Subagio dan Adrian S.D. Walker, 1992. *Peta Anomali Lembar Solok, Sumatera*. Skala 1 : 250.000, Puslitbang Geologi, Bandung.
- Goodwin, P.W., Anderson, E.J., Goodman, W.M. dan Saraka, L.J., 1986. Punctuated aggradational cycles: implications for stratigraphic analysis. *Paleoceanography*, (1) : 417-429.
- Kastowo, Gerhard W. Leo, S. Gafoer & T.C. Amin., 1996. *Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera. Sekala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Kutzbach, J.E., and Street - Perrot, F.A., 1985. Milankovitch forcing of fluctuations in the level of tropical lakes from 18 to 0 kye BP. *Nature*, (317) : 130-134.
- Milson, J. and Walker, A., 2007. *The Gravity Field of Sumatra. Chapter 3 of Geology of Sumatra*, Geological Society Memoir No. 27. [Http://www.es.uk/people/Archive/milsom/SMTRAGR.V.htm](http://www.es.uk/people/Archive/milsom/SMTRAGR.V.htm).
- Moechtar, H., 1994. *Coastal plain and fluvial deposits in the Tertiary of Central and Northern Spain*. *Geologica Ultraiectina*, 123, 135 pp.
- Olsen, H., 1989. Sandstone - body structures and ephemeral streams processes in the Dinosaur Canyon Member, Moenave Formation (Lower Jurassic), Utah, USA. *Sedimentary Geology*, (61) : 207-221
- Overpeck, J.T., Anderson, D., Trumbore, S., Prell, W., 1996. The south-west Indian Monsoon over the last 18.000 years. *Clim. Dyn.* (12) : 213 -225.
- Perlmutter, M.A. dan Matthews, M.A., 1989. Global Cyclostratigraphy. In: T.A. Cross (ed.), *Quantitative Dynamic Stratigraphy*. Prentice Englewood, New Jersey, 233-260.
- Silitonga, P.H. dan Kastowo, 1995. *Peta Geologi Lembar Solok, Sumatera. Skala 1:250.000, Edisi 2*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tjia, H.D., 1977. Tectonic Depressions along the Transcurrent Sumatra Fault Zone. *Geologi Indonesia*, J 4 (1) : 13-27.

- Thomas, R., Meybeck and A. Beim, 1996. Chapter 7* - Lakes. In : Chapman, D. (Ed). *Tectonic lakes: Lakes formed by large scale crustal movements separating water ... tropical lakes the temperature difference between surface and bottom ... Water Quality Assessments A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring Second Edition*, © 1992, 1996 UNESCO/WHO/UNEP, ISBN 0 419 21590 5 (HB) 0 419 21600 6 (PB), 46pp. [Http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter7.pdf](http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter7.pdf) -
- Van Houten, F.B., 1964. Cyclic lacustrine sedimentation, Upper Triassic Lockatong Formation, Central New Jersey and adjacent Pennsylvania, Kansas State. *Geological Survey Bulletin* 2 (160) 497-531.
- Walker, R.G. dan James, N.P., 1992. Preface. Dalam Walker, R.G. Dan James, N.P., (eds.), *Facies Models response to sea level change*, Geological Association Of Canada.

Naskah diterima : 23 Agustus 2007
Revisi terakhir : 4 Juli 2008

JSDG
S M